

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

20.03.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 3月22日

REC'D 16 MAY 2003

出願番号

Application Number:

特願2002-080947

WIPO

PCT

[ST.10/C]:

[JP2002-080947]

出願人

Applicant(s):

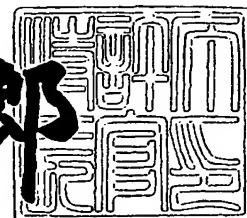
浜松ホトニクス株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 5月 2日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3031234

【書類名】 特許願

【整理番号】 2002-0046

【提出日】 平成14年 3月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G21K 1/06
G21K 7/00

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス
株式会社内

【氏名】 大庭 昌

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス
株式会社内

【氏名】 杉山 優

【発明者】

【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス
株式会社内

【氏名】 小野田 忍

【特許出願人】

【識別番号】 000236436

【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 X線像拡大装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 線源から発したX線を試料に照射する照明光学系と、回転双曲面と回転楕円面から成る斜入射ミラーにより構成され、前記試料を透過したX線を所定の位置に拡大結像させる対物レンズと、前記対物レンズにより結像したX線像を検出するX線像検出手段と、前記X線像検出手段、前記試料、及び前記照明光学系の少なくとも1つを光軸方向に沿って移動させることで、前記X線像の結像倍率を調整する結像倍率調整手段と、を備えたX線像拡大装置。

【請求項2】 可視光又は紫外光のいずれかの光を前記試料に照射する光照射手段と、

前記試料を透過し前記対物レンズで反射した光による像を検出する光検出手段と、

をさらに備えた請求項1記載のX線像拡大装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、X線を利用して試料を観察することが可能なX線像拡大装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、生体観察や半導体検査等においては、試料を未処理で観察することができるX線顕微鏡が利用されている。例えば結像型X線顕微鏡は、試料にX線を照射し、そのX線像を結像光学系により検出器上に拡大結像させて試料を観察するように構成されている。

【0003】

上記結像型X線顕微鏡の結像光学系としては、回折を利用したゾーンプレート

光学系（特開平9-251100号公報など）、特定波長のX線に対して高い反射率を有する多層膜を積層してなるシュバルツシルト光学系（特開平6-300900号公報など）などが用いられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特開平9-251100号公報には、検出器を光軸方向に移動させて検出器とゾーンプレート型対物レンズとの距離を変化させることによりフォーカシングを行う軟X線顕微鏡が開示されているが、この技術による結像倍率の変化は、波長選択性の高いゾーンプレートを使用するため、波長を僅かに変化させる必要がある。また、X線光量の損失が大きく、単色性が必要で放射光の利用が必要とされる。また、同じ倍率でも異なる波長で観察する場合には、試料及び検出器を移動させる必要があり、シュバルツシルト型の対物レンズを用いた場合でも、観察する波長が決まってしまう。

【0005】

また、特開平6-300900号公報には、シュバルツシルト型多層膜ミラーで拡大した像を蛍光面等で可視光に変換した後、低倍率から高倍率までの複数のレンズを備えた光学顕微鏡で、拡大率を変えながら上記変換後の像を観察する技術が記載されているが、この技術では、多層膜ミラーを用いるため、観察可能な波長が限られるとともに、一旦可視光に変換するため、作業効率が低くなってしまう。

【0006】

このため、実験室規模のX線顕微鏡では、光学素子として、利用効率が高く、波長選択性が無い斜入射ミラーが適している。

【0007】

本発明は、上記課題を解決するために成されたものであり、波長選択性が無い斜入射ミラーを用いて結像倍率を変更することができるX線像拡大装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明に係るX線像拡大装置は、線源から発したX線を試料に照射する照明光学系と、回転双曲面と回転楕円面から成る斜入射ミラーにより構成され、前記試料を透過したX線を所定の位置に拡大結像させる対物レンズと、前記対物レンズにより結像したX線像を検出するX線像検出手段と、前記X線像検出手段、前記試料、及び前記照明光学系の少なくとも1つを光軸方向に沿って移動させることで、前記X線像の結像倍率を調整する結像倍率調整手段と、を備えたことを特徴とする。

【0009】

ここで、図1において本発明の原理を説明する。試料を置く位置を物点O、斜入射ミラーWは回転双曲面と回転楕円面からなり、その接合部の位置をS、結像面の位置をIとし、物点Oから斜入射ミラーの接合部Sまでの距離をa、位置Sから位置Iまでの距離をbとする。また、この斜入射ミラーの焦点距離をf、結像倍率をMとすると、以下の式が成立する。

【0010】

$$(1/a) + (1/b) = 1/f \quad \cdots \text{式 (1)}$$

$$b = aM \quad \cdots \text{式 (2)}$$

【0011】

斜入射ミラーの場合、本来、その設計により、距離a、bは固定値であり、従って、倍率Mも固定値となる。ところが、光線追跡シミュレーションによれば、分解能は悪くなるものの、距離a、bを調整し結像倍率Mを変化させても結像可能であることが確認された。

【0012】

一例として、距離aを20mm、距離bを2000mm、倍率Mを100で設計した斜入射ミラーにおいて、倍率Mを変えた場合の分解能の変化（シミュレーション結果）を図2に示す。この図2から、設計倍率Mが100のとき、最も分解能が高いがそれ以外の倍率でも分解能は低いものの、結像することが解る。分解能を $0.05 \mu m$ まで許容する場合には、このミラーでは、倍率60倍から300倍まで使用できることがわかる。このとき、距離aは20.1~19.9mmの範囲で、距離bは、約1200mm~6000mmの範囲で変化する。なお、低倍率側で

の観察で試料探査が主な目的の場合には、高分解能はあまり必要とされないため、30倍程度でも十分使用することができる。

【0013】

従って、距離a、bを上記のような範囲で変化させることができれば、斜入射ミラーを交換することなく、結像倍率を変更させることができる。

【0014】

本発明では、対物レンズに斜入射ミラーを用いることにより、対物レンズとしてゾーンプレート光学系やシュバルツシルト型多層膜ミラーを用いた従来例に比べ、以下の利点がある。

【0015】

即ち、対物レンズとしてゾーンプレート光学系を用いた場合に比べ、①照明するX線を単一波長にする必要がなく照明光学系の構成が簡単になること、②同一倍率ならX線波長が変化してもf値が変わらないため、距離a、bの値は変わらないこと、③X線の利用効率が高いことが挙げられる。また、対物レンズとしてシュバルツシルト型多層膜ミラーを用いた従来例に比べ、観察できる波長が単一波長に制限されず、広範囲の波長域で観察可能であることが挙げられる。

【0016】

また、本発明のX線像拡大装置は、可視光又は紫外光のいずれかの光を前記試料に照射する光照射手段と、前記試料を透過し前記対物レンズで反射した光による像を検出する光検出手段と、をさらに備えたことを特徴としてもよい。これにより、X線のみを用いる場合に比べ、装置の取り扱いや観察が容易となり、試料の放射線損傷が軽減される、という利点がある。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、図面と共に本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0018】

【第1実施形態】

図3は、本発明の第1実施形態に係るX線顕微鏡の概略構成を示す断面図である。図1に示した装置は、X線源1、フィルター2、全反射を利用した回転橜円面形状からなる照明用斜入射ミラー3、試料4、対物レンズの回転双曲面と回転橜円面からなる斜入射ミラー5、及びX線検出器6を含んで構成されている。X線源1としては、例えば、ガスパフ型プラズマX線源を用いる。

【0019】

図3を用いて、第1実施形態に係るX線顕微鏡の動作を説明する。ガスパフ型プラズマX線源1から発生したX線をフィルター2によって、観察するX線の波長領域に制限し、照明用斜入射ミラー3により試料4に照射する。試料4を透過したX線は斜入射ミラー5に入射し、X線検出器6の受光面において、拡大されたX線像が検出される。拡大率を変更する場合は、所望する倍率になるようにX線検出器6を矢印Qの光軸方向に沿って移動させることで斜入射ミラー5から検出器6までの距離bを調整する。その後、X線検出器6で検出された画像を見ながら、フォーカスが合うように試料4を、図示しない移動機構によって矢印Pの光軸方向に移動させ、試料4と斜入射ミラー5間の距離aを調整する。または、試料4を移動させた後、フォーカスが合うようにX線検出器6を移動させても良い。そして最後に、最適な照明が得られるように照明用斜入射ミラー3を移動させる。

【0020】

なお、図8には照明光学系の配置を示す。○が光源、Iが集光点（光源○の像）であり、前述した式（1）が成り立つ。上記の図3の試料4の位置が決まれば、試料4の位置と集光点Iとが一致するように照明用斜入射ミラー3を移動させる。

【0021】

このとき、図3の試料4及び照明用斜入射ミラー3は、矢印Pの光軸方向に沿って数mm移動でき、X線検出器6は数mm移動できる機構を有する必要がある。X線として波長1nm以上の比較的長い軟X線を用いる場合、この領域のX線は空気の吸収が大きく、その光路は真空に保つ必要があり、斜入射ミラー3、試料4、斜入射ミラー5、X線検出器6は真空容器の中に設置される。従って、斜入

射ミラー3、試料4、斜入射ミラー5、X線検出器6の移動は真空容器の外から移動できれば作業効率が向上する。なお、試料4のみ空気中に設置する構成も採用することができる。

【0022】

試料4、斜入射ミラー3、斜入射ミラー5の移動範囲は数mmと小さいため、これらの移動機構は市販の移動ステージやマニピュレータ等で構成することができる。一方、X線検出器6の移動機構については、図4に示すような真空ベローズ14を用いることにより、数m程度の大きい範囲の移動も可能となる。真空ベローズ14は真空フランジ12a、12bと各真空配管11によって連結されている。真空フランジ12aは図3の斜入射ミラー5を有する真空配管に連結され、真空フランジ12bはX線検出器6との接続を行う真空フランジ15に連結される。真空配管11と真空フランジ12a、12bには、それぞれ支柱16が取り付けられており、その先にボルト17を貫通させる穴が設けられている。真空フランジ12a、12bの支柱の先には、ボルト17をその長さ方向において固定するナット13a～13dが設けられている。X線検出器6の位置を調整するときは、ナット13c、13dを緩め、真空ベローズ14を伸縮して目的の長さに調節し、再びナット13c、13dを締めることにより、真空ベローズ14の長さを固定する。

【0023】

次に、図5、図6を用いて具体的な操作を説明する。ここでは、例として式(1)、式(2)において、設計倍率Mを100、試料4と斜入射ミラー5間の距離aを20mm、斜入射ミラー5とX線検出器6間の距離bを2000mmと設定された斜入射ミラー5を用い、低倍率側で約40倍、高倍率側で約200倍の観察を行うものとする。また、照明用斜入射ミラー3、試料4、斜入射ミラー5は、それぞれ独立に移動ステージ7、8、9によって、その位置および傾き等が調整可能とされている。

【0024】

低倍率(例えば倍率M=約40倍)で観察する場合は、図5に示すように斜入射ミラー5とX線検出器6との距離bが約800mmになるように上述のベロー

ズ付真空配管10の真空ベローズ14を縮め、X線検出器6の画像を観察しながら、フォーカスが合うように移動ステージ8によって試料4を移動させることで試料4と斜入射ミラー5間の距離aを調整し、最適な照明が得られるように移動ステージ7によって照明用斜入射ミラー3を移動させる。

【0025】

一方、高倍率（例えば倍率M=約200倍）で観察する場合は、図6に示すように斜入射ミラー5とX線検出器6との距離bが約4000mmになるようにベローズ付真空配管10の真空ベローズ14を伸ばし、X線検出器6の画像を観察しながら、フォーカスが合うように移動ステージ8によって試料4を移動させることで試料4と斜入射ミラー5間の距離aを調整し、最適な照明が得られるように移動ステージ7によって照明用斜入射ミラー3を移動させる。

【0026】

このような第1実施形態によれば、斜入射ミラー5を対物レンズとして用いるX線顕微鏡において、試料4と斜入射ミラー5間の距離a、斜入射ミラー5とX線検出器6間の距離bを調整することにより、斜入射ミラー5を交換することなく、結像倍率を変更することができる。

【0027】

なお、斜入射ミラー3、5、試料4、X線検出器6を移動させる方法は、上記の方法に限定されず、目的の位置に移動可能な機構を持つものであれば、種々の変更や変形を加えることができる。

【0028】

〔第2実施形態〕

次に、図7を用いて本発明に係る第2実施形態を説明する。この第2実施形態は、試料探査のため、低倍率の観測を可視光等で簡単に行うように構成したものである。

【0029】

図7に示すように、第2実施形態の構成は、第1実施形態の構成に加え、可視光源21、光路上に挿入及び退避可能なミラー22、23、これらミラーの矢印R、S方向の挿入・退避動作を駆動する直線導入端子25、26、並びに、可視

光に感度がある検出器24が設けられている。図7において実線で示すミラー22a、23aは光路から退避した状態を示し、破線で示すミラー22b、23bは光路上に挿入した状態を示している。

【0030】

ここでは、例として式(1)、式(2)において、設計倍率Mを100、試料4と斜入射ミラー5間の距離aを20mm、斜入射ミラー5とX線検出器6間の距離bを2000mmと設定された斜入射ミラー5を用い、可視光により低倍率(約40倍)の観察を行い、X線により高倍率(約100~200倍)の観察を行うものとする。

【0031】

試料探査のための可視光による低倍率(例えば倍率M=約40倍)での観察は、直線導入端子25、26を駆動することでミラー22a、23aを、それぞれ光軸上の位置22b、23bに挿入する。次に、可視光源21を点灯させる。この可視光は、ミラー22により反射し、照明用斜入射ミラー3により試料4に照射する。この試料4を透過した可視光は、斜入射ミラー5により反射して、ミラー23により反射し、検出器24に入射する。ミラー23を介した斜入射ミラー5と検出器24との距離は約800mmに設定する。検出器24で検出された画像を見ながら、フォーカスが合うように移動ステージ8によって試料4を移動させることで試料4と斜入射ミラー5間の距離aを調整し、最適な照明が得られるように移動ステージ7によって照明用斜入射ミラー3を光軸方向に移動させる。なお、照明に関しては、可視光源21を光軸方向に移動させても同様の結果が得られる。

【0032】

試料4の所望の位置を探査した後、X線を用いて高倍率の詳細な観察を行う場合、ミラー22、23を直線導入端子25、26により、それぞれ位置22a、23aに退避させ、倍率Mが約100倍の場合は、斜入射ミラー5とX線検出器6間の距離bを約2000mmにし、倍率M=約200倍の場合は、斜入射ミラー5とX線検出器6間の距離bを約4000mmになるようにX線検出器6を移動させる。X線源1からX線を照射し、X線検出器6において画像を観察しながら

ら、フォーカスが合うように移動ステージ8によって試料4を移動させることで試料4と斜入射ミラー5間の距離aを調整し、最適な照明が得られるように移動ステージ7によって照明用斜入射ミラー3を光軸方向に移動させる。

【0033】

このような第2実施形態によれば、X線に加え可視光も用いるため、X線のみを用いる場合に比べ、取り扱いや観察が容易である。また、可視光で行うため、試料の放射線損傷を低減することができる。さらに、X線での観察は高倍率側だけであるため、X線検出器6の移動距離を削減することができる。

【0034】

なお、本発明は、種々の変形態様が可能である。例えば、上記の例では高倍率での観察において、ベローズ付真空配管10によりX線検出器6を移動させて倍率を調整できるようにしてあるが、高倍率側で倍率を調整する必要がない場合には、ベローズ付配管10を用いず、長さが一定とされた配管によってX線検出器6の位置を固定しても良い。この場合、照明用斜入射ミラー3を高倍率の観察で最適な照明が得られる位置に設置し、可視光を用いた低倍率の観察では、可視光源21の位置を式(1)によって最適な照明位置が得られる位置に設定しておけば、低倍率、高倍率で照明光の調整が必要なくなり、より簡便な手順で観察を行うことができる。

【0035】

また、可視光源に代わり、紫外線光源を用いても良く、その場合、ミラー22、23は紫外線用ミラーを用い、検出器24は紫外線に感度がある検出器を用いる。また、X線源1とは別のX線光源を可視光源21の位置に設置しても良く、その場合、ミラー22、23はX線用多層膜ミラーを用い、検出器24はX線に感度がある検出器を用いる。

【0036】

さらに、第1、第2実施形態においては、種々の変形、変更が可能である。例えば、X線源としては、ガスパフ型プラズマX線源の他に、レーザープラズマX線源あるいは放射光を採用しても良い。また、照明光学系を、全反射を利用した回転楕円面形状からなる照明用斜入射ミラー3としたが、回転双曲面及び回転楕

円面を有する斜入射ミラーを採用しても良い。

【0037】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、斜入射ミラーを対物レンズとして用いるX線像拡大装置において、試料と斜入射ミラー間の距離、斜入射ミラーと検出器間の距離を変更することにより、斜入射ミラーを交換することなく、結像倍率を変更することができる。

【0038】

また、本発明は、対物レンズとして斜入射ミラーを用いたことで、ゾーンプレート光学系を用いた場合に比べ、照明するX線を单一波長にする必要がなく照明光学系の構成を簡素化できること、同一倍率ならX線波長が変化しても焦点距離 f が変わらないため、試料、検出器を移動させる必要がないこと、X線の利用効率が高いことの3点において優れており、シュバルツシルト型多層膜ミラーを用いた場合に比べ、観察できる波長が单一波長に制限されず広範囲の波長域（可視～X線）で観察が可能である点で優れている。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の原理を説明するための図である。

【図2】

斜入射ミラーにおいて倍率を変えた場合の分解能の変化を示すグラフである。

【図3】

第1実施形態に係るX線顕微鏡の概略構成を示す断面図である。

【図4】

X線検出器の移動機構の一例を示す図である。

【図5】

低倍率で観察する場合の操作を説明するための図である。

【図6】

高倍率で観察する場合の操作を説明するための図である。

【図7】

第2実施形態に係るX線顕微鏡の概略構成を示す断面図である。

【図8】

照明光学系の配置を示す図である。

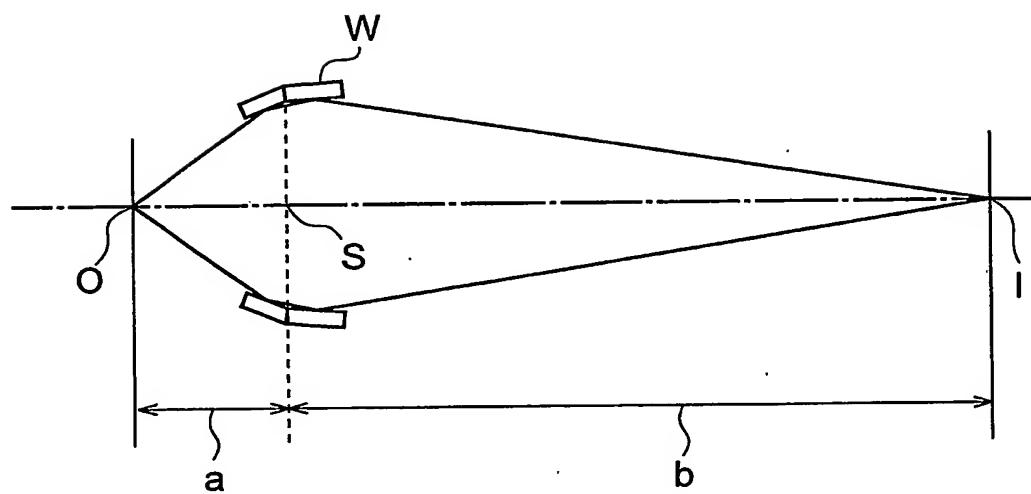
【符号の説明】

1 …線源、 2 …フィルター、 3 …照明用斜入射ミラー、 4 …試料、 5 …斜入射ミラー、 6 …X線検出器、 7、 8、 9 …移動ステージ、 10 …ベローズ付真空配管、 11 …真空配管、 12a、 12b …真空フランジ、 13a、 13b、 13c …ナット、 14 …真空ベローズ、 15 …真空フランジ、 16 …支柱、 17 …ボルト、 21 …可視光源、 22、 23 …ミラー、 24 …検出器、 25 …直線導入端子

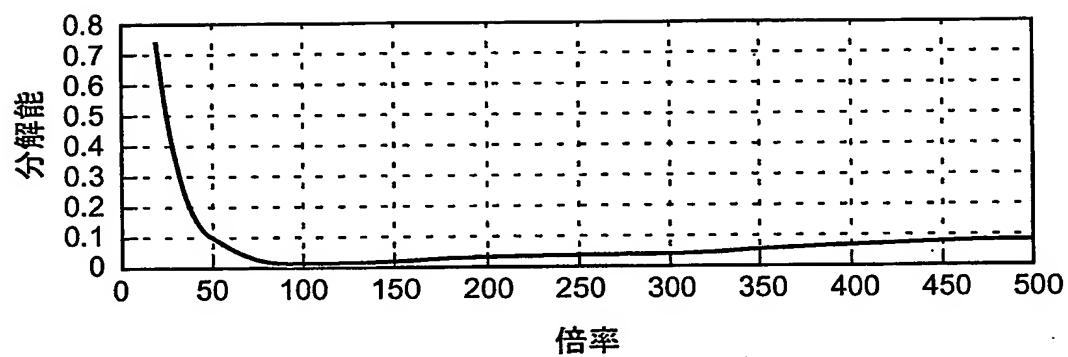
【書類名】

図面

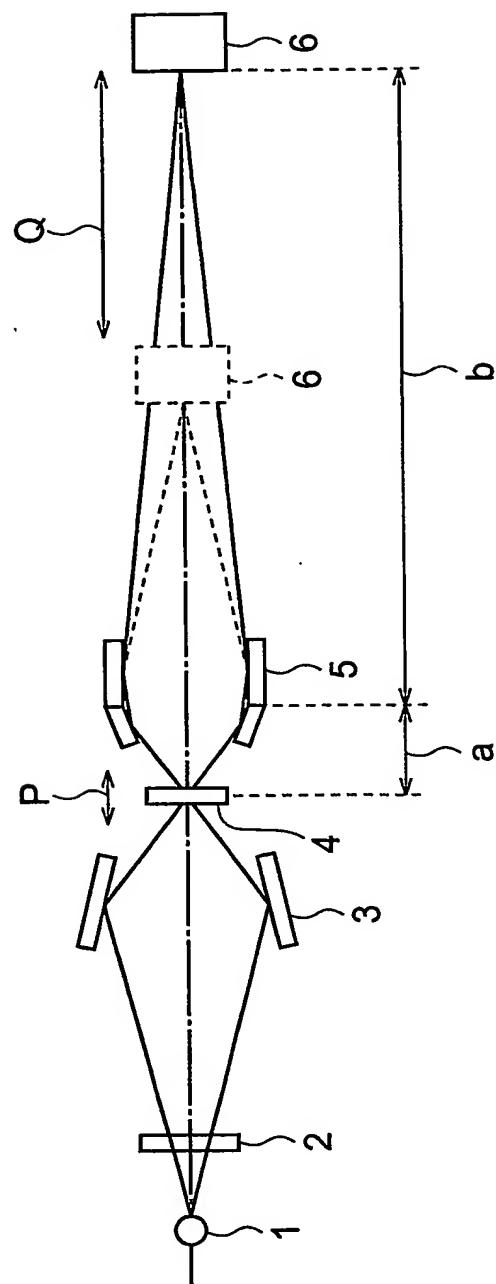
【図1】



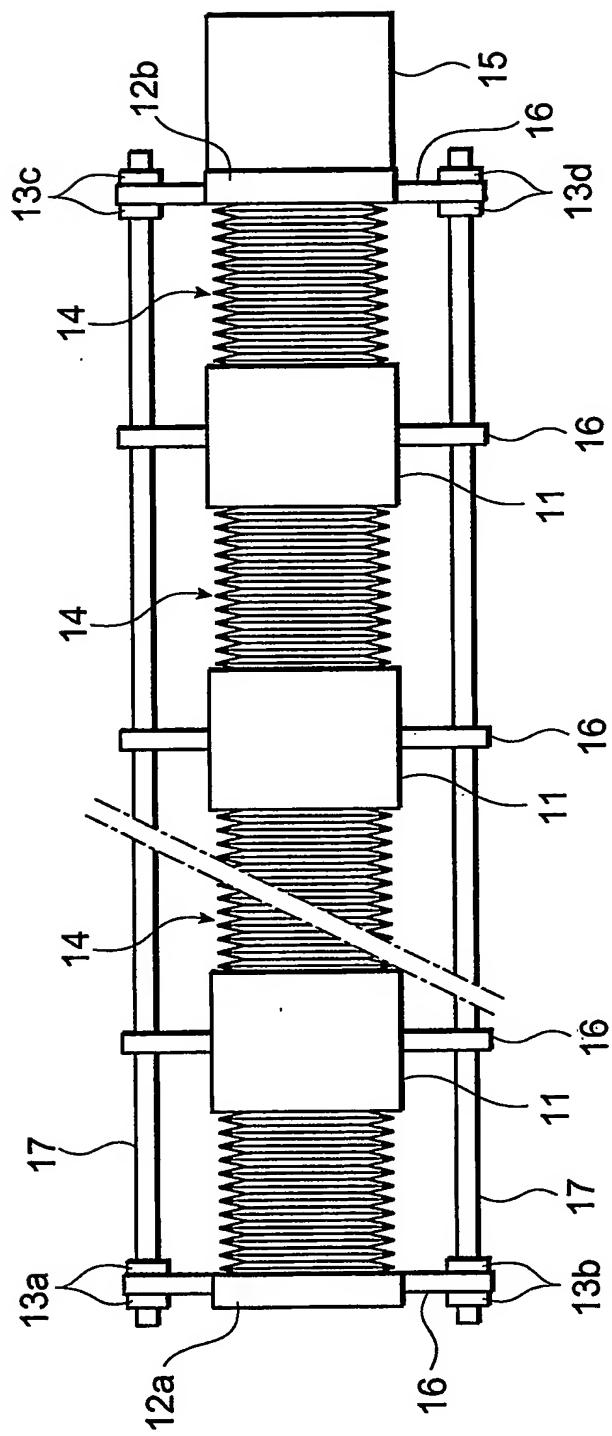
【図2】



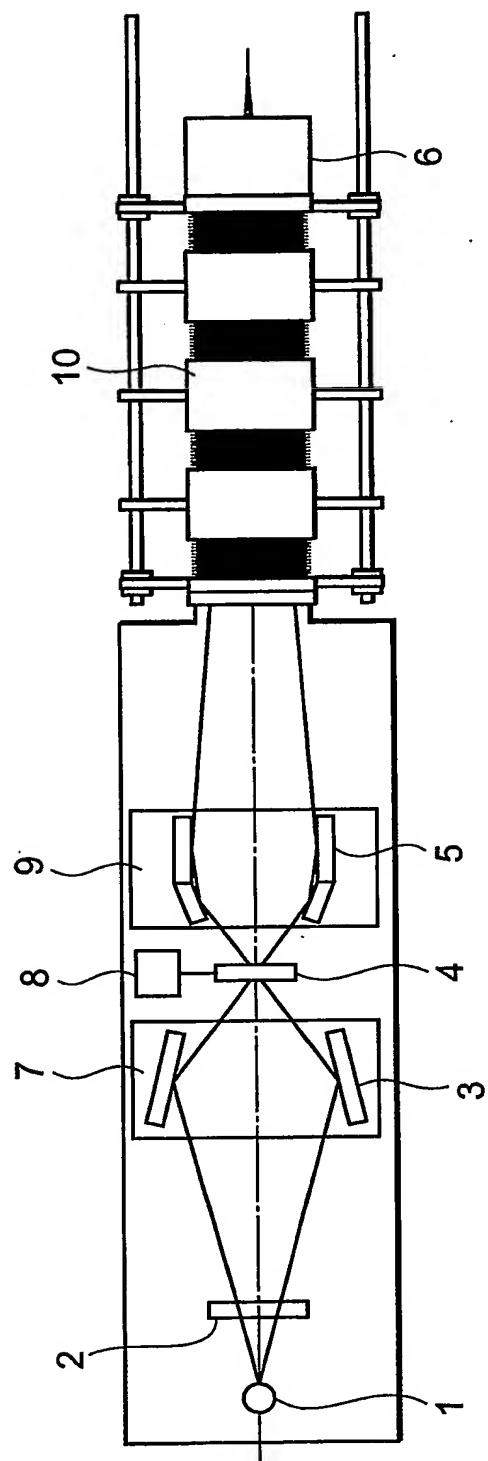
【図3】



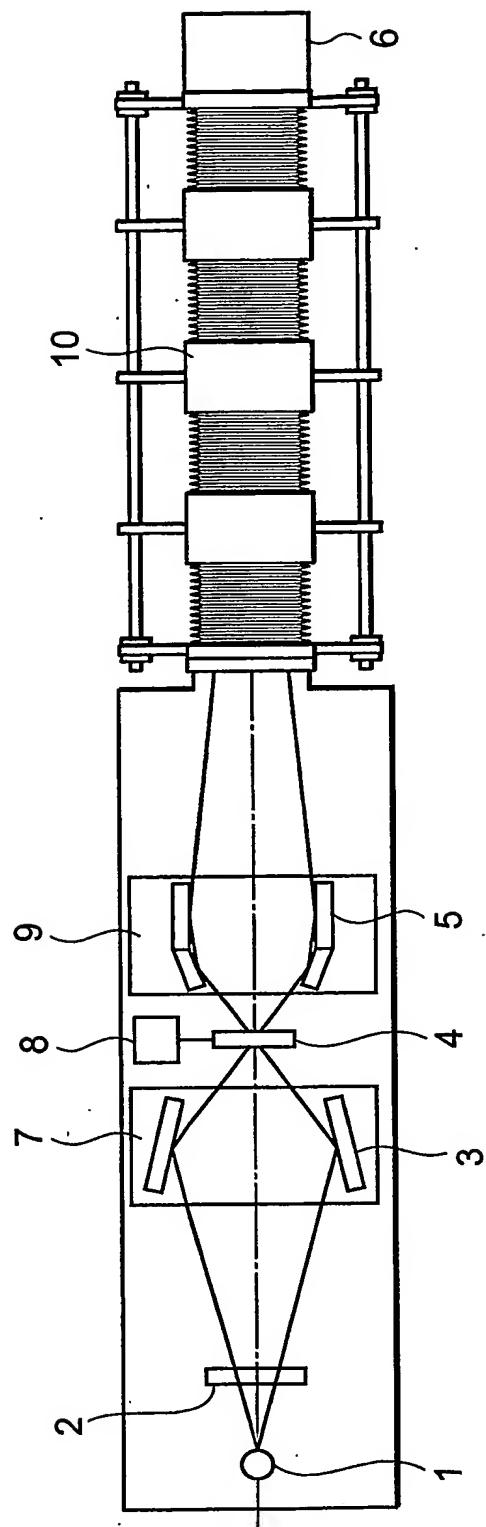
【図4】



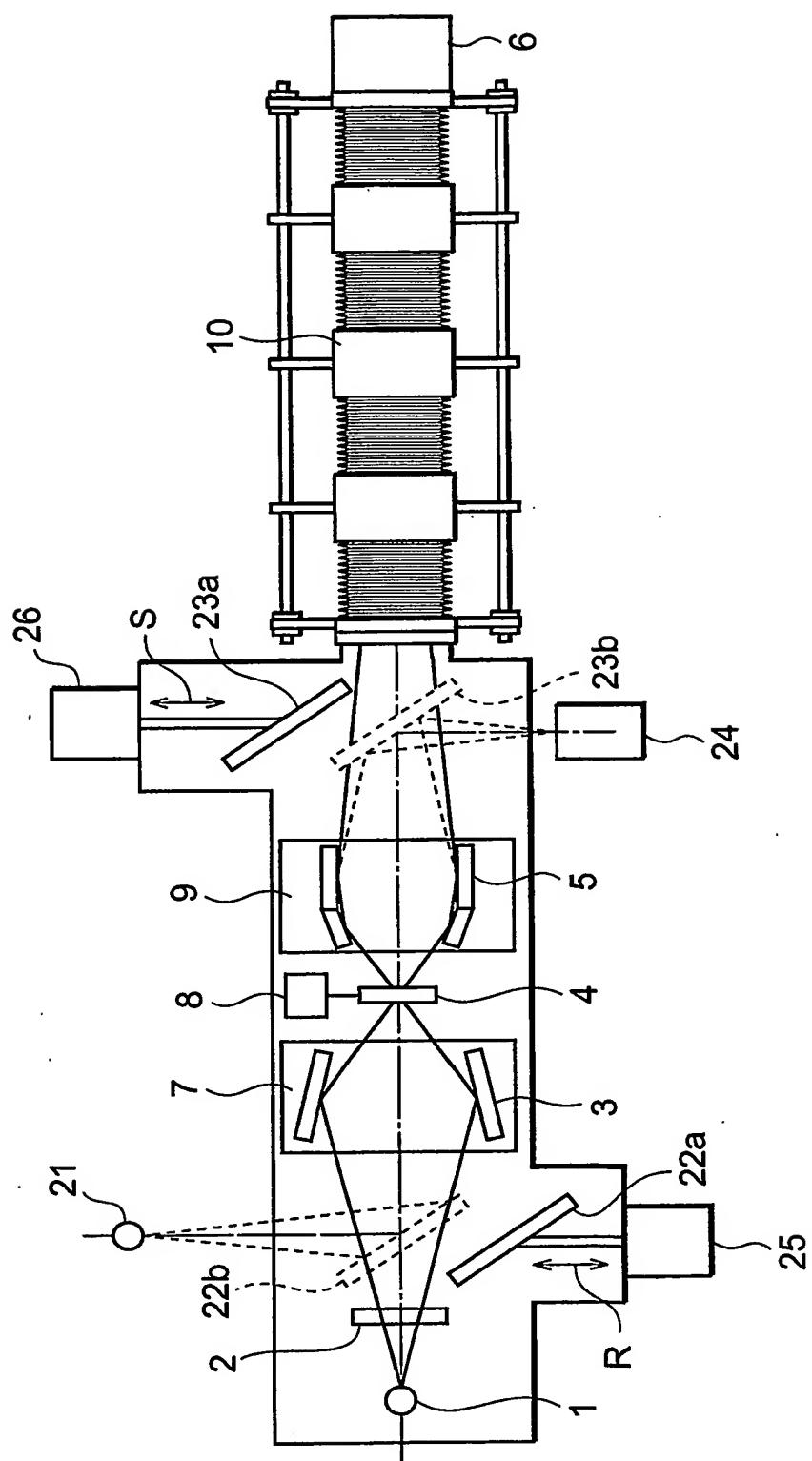
【図5】



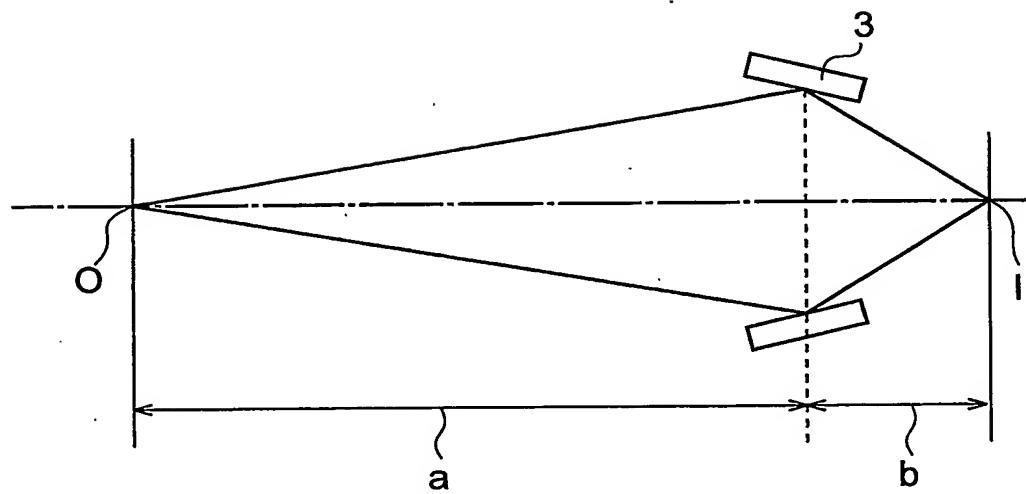
【図6】



【図7】



【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 波長選択性が無い斜入射ミラーを用いて結像倍率を変更することができるX線像拡大装置を提供する。

【解決手段】 本発明に係るX線像拡大装置は、線源1から発したX線を試料4に照射する照明光学系3と、回転双曲面と回転楕円面から成る斜入射ミラーにより構成され試料4を透過したX線を所定の位置に拡大結像させる対物レンズ5と、結像したX線像を検出するX線像検出手段6と、X線像検出手段6、試料4及び照明光学系3の少なくとも1つを光軸方向に沿って移動させることでX線像の結像倍率を調整する結像倍率調整手段とを備えたことを特徴とする。これにより、斜入射ミラーを対物レンズとして用いるX線像拡大装置において、斜入射ミラーを交換することなく結像倍率を変更することができる。

【選択図】 図3

出願人履歴情報

識別番号 [000236436]

1. 変更年月日 1990年 8月10日

[変更理由] 新規登録

住 所 静岡県浜松市市野町1126番地の1
氏 名 浜松ホトニクス株式会社